

# ORIGEN DE LA ENERGIA NUCLEAR

María Curie y su esposo fueron los primeros en observar que un trozo de radio siempre se hallaba a una temperatura superior, algunos grados por encima de la del medio circundante. Lo mismo ocurre con cualquiera otra sustancia radioactiva. Esta energía aparecía como diferente de toda otra conocida hasta entonces. Ella procedía de lo más íntimo de los mismos átomos.

## ENERGIA Y MASA

¿De dónde exactamente procedía esa energía? En 1905 Albert Einstein, contaba solo 26 años, sacudió al mundo científico con su llamativa Teoría de la Relatividad. Conocidos son los dos postulados que la fundan. Uno resume los resultados experimentales obtenidos por los físicos americanos Michelson y Morley en 1887 al pretender detectar el movimiento de la tierra relativo al supuesto éter inmóvil: "La velocidad de la luz en el vacío tiene el mismo valor para todos los observadores, independiente de su estado de movimiento". El segundo expresa la ausencia de un marco universal de referencia —intuición generalizadora del fracaso resultante en dicha experiencia al no poder comprobar la existencia del éter—, y reza así: "Las leyes físicas pueden ser expresadas mediante ecuaciones de la misma forma en todos los marcos de referencia que se muevan a velocidad constante los unos con respecto a los otros".

Una de las consecuencias más fecundas de estos dos postulados se reveló en la unión de las dos realidades hasta entonces irreductibles: la masa y la energía. Una cantidad determinada de masa puede ser convertida en cierta cantidad de energía, de tal modo que aumente la energía existente en el universo a expensas de una cierta cantidad de materia. Caen con esto ambos principios de conservación: el de conservación de la masa total del universo y el correspondiente de la conservación de la energía total, dando lugar a uno solo: el de conservación de la masa-energía. La posibilidad abierta por este principio nos ofrece la clave de la energía nuclear.

Lo más extraordinario del caso consiste en que

una pequeñísima cantidad de masa se puede convertir en una considerable cantidad de energía, pues el coeficiente de transformación es enorme: la velocidad de la luz elevada al cuadrado. No entraña ningún algoritmo matemático complicado la relación einsteniana entre masa y energía. Para obtener la energía  $E$  originada en la desaparición de una cierta cantidad de masa  $M$  basta multiplicar esta última por la velocidad de la luz  $c$  elevada al cuadrado:  $E = Mxc^2$ .

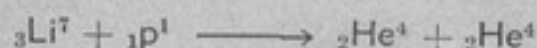
Basta recordar el valor de  $c = 300.000.000$  de metros por segundo para comprender la enorme cantidad de energía desarrollada por un corpúsculo bien pequeño de materia. Si uno pudiera convertir un terrón de azúcar en energía podría mantener encendida una estufa eléctrica durante más de 5.000 años.

La teoría de Einstein fue tan novedosa y extraña que no pocos científicos pensaron que no podría ser verdadera. Muchos años pasaron hasta que se lograra la contundente confirmación brindada por Bainbridge, basándose en los resultados de una experiencia ejecutada por Cockcroft y Walton en 1932 en la Universidad de Cambridge.

Cockcroft y Walton fueron los primeros en lograr la división de un átomo en dos partes por medios artificiales. En síntesis, la experiencia consistió en acelerar protones provenientes de gas hidrógeno ionizado. El haz de protones acelerados por medio de un alto voltaje es dirigido a través de un tubo al vacío hasta hacer impacto sobre un blanco recubierto por una capa de óxido de litio. Como efecto de ese bombardeo, ciertas partículas se desprendían de dicho blanco, en número mucho menor que los protones incidentes. Analizadas dichas partículas por los métodos ya conocidos y, sobre todo, mediante una cámara de niebla, resultaron ser las conocidas partículas alfa. ¿Cuál ha sido el origen de esas partículas alfa? ¿Cómo se ha desarrollado todo el proceso?

Los físicos han interpretado del siguiente modo: de los muchos protones incidentes uno que otro ha hecho tan certero blanco en un núcleo de litio que quedó atrapado o absorbido por el mismo. Se habría formado un núcleo compuesto

por el núcleo de litio más el protón incidente, la duración de ese núcleo compuesto siendo extremadamente fugaz, esto es, casi instantáneamente se divide o desintegra en dos partículas alfa, que son las observadas como resultado de dicha colisión protón-litio. Se dice que se ha llevado a cabo una reacción nuclear, y los físicos emplean una escritura harto sencilla para resumirla:

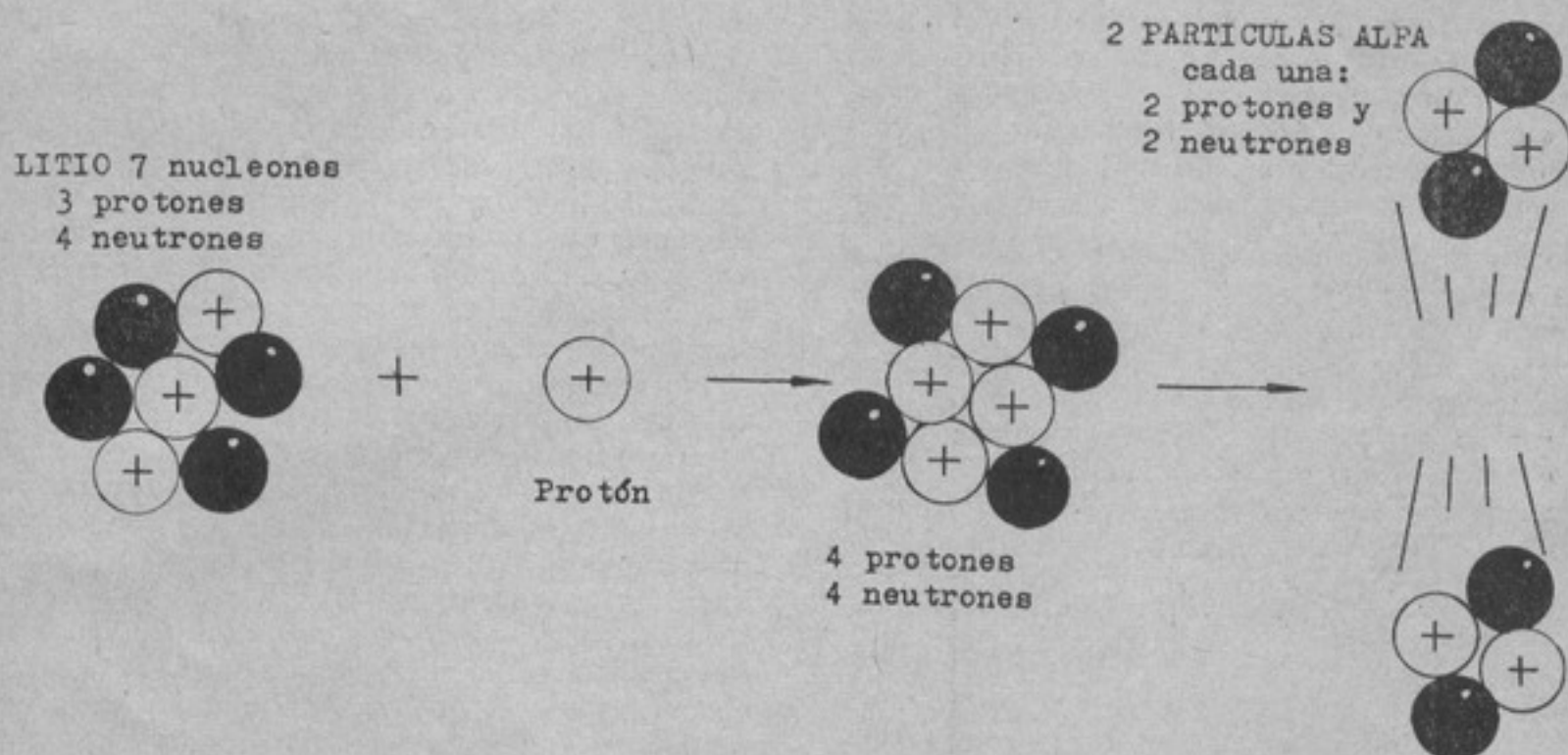


El número a la izquierda del símbolo indica el número de protones y el de la derecha el número de nucleones contenidos en dicho núcleo, siendo su diferencia el número de neutrones. Naturalmente a ambos lados de la flecha las sumas de los respectivos índices ha de arrojar el mismo resultado.

base al experimento (16,95), diferencia que cae bien dentro del inevitable error experimental, brindando una sorprendente confirmación de la teoría einsteniana. Desde entonces muchas otras reacciones nucleares han sido estudiadas. En todos los casos la ecuación  $E = c^2 \times M$  ha sido verificada.

El proceso fundamental originante de la energía nuclear quedó asentado: la transformación de una pequeñísima parte de materia en energía.

Otra cosa es la utilización práctica de ese proceso. En el experimento mencionado tan solo un protón de cada 100.000 millones lograba hacer impacto en un núcleo de litio y la consiguiente reacción nuclear, con la resultante ganancia energética de 17,2 millones de electrón-voltios. Pero esos relámpagos de energía son tan peque-



#### EXPLICACION TEORICA DEL EXPERIMENTO DE COCKCROFT Y WALTON

La energía acarreada por cada partícula alfa emitida fue calculada a partir de la traza particular dejada por ella en la cámara de niebla. La suma de las energías de las dos partículas alfa resultó ser mayor que la del protón incidente en la cantidad de 16,95 millones de electrón-voltios. (El electrón-voltio es una nueva unidad de energía apta para ser usada en física moderna). ¿De dónde procedía ese incremento de energía?

Un año más tarde, en 1933, Bainbridge pudo medir con exactitud (por medio del espectómetro de masas) las masas de los átomos y partículas que tomaban parte en dicha reacción, y halló que la masa de dos átomos de helio (ó partícula alfa) era menor en 0,0185 uma a la masa del litio más la del protón (uma significa unidad de masa atómica). Esa cantidad de masa desaparecida durante la reacción nuclear en cuestión multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado arroja el valor de 17,2 millones de electrón-voltios. Este valor, precedido por la teoría de Einstein, difiere solo en 0,25 del calculado en

ños y se liberan tan discretamente en el tiempo que no pueden ser almacenados para su empleo práctico. La búsqueda por otros procesos similares en que los destellos de energía se multiplicarán más frecuentemente fue emprendida de inmediato.

#### LA FISION DEL NUCLEO

Cuando una partícula cargada con electricidad positiva, como el protón en el experimento de Cockcroft y Walton, se va aproximando al núcleo de un átomo sufre una fuerte repulsión, debido a que el núcleo posee igualmente carga positiva. Esta repulsión nos explica por qué tan pocos protones lograban hacer impacto en los núcleos de litio.

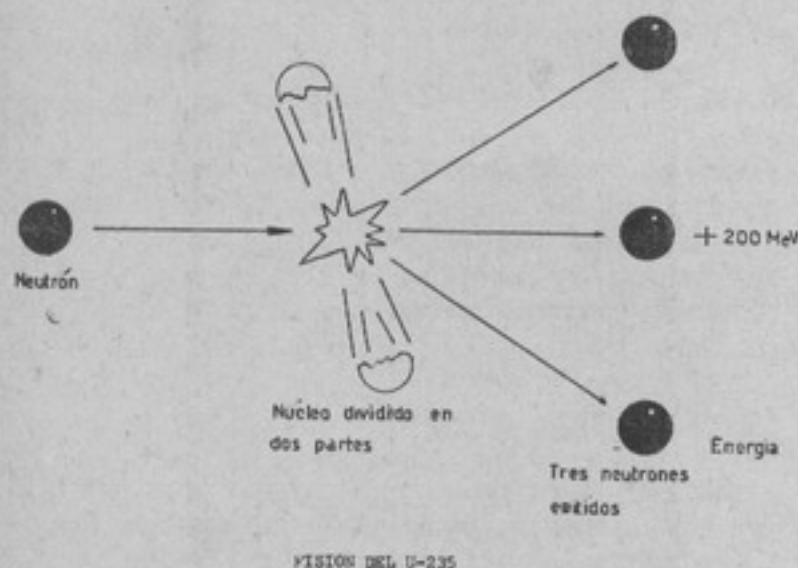
Tan pronto como fue difundida la noticia del descubrimiento del neutrón (recordemos que fue precisamente en 1932 cuando Chadwick dio la explicación satisfactoria de su existencia) se pensó en él como el proyectil ideal para disparar



contra los núcleos. El neutrón, puesto que no acarrea carga eléctrica alguna, no sería repelido por el núcleo positivo y consiguientemente tendría más "chance" para llegar y hasta penetrar en el mismo.

En 1934 un físico italiano, Enrique Fermi — por ventura el físico nuclear más eminente en lo que va del siglo — y sus colegas investigaron en la Universidad de Roma los efectos de disparar neutrones contra diversos elementos. Descubrieron que los neutrones lentos eran más eficaces que los rápidos para penetrar y dividir a los núcleos. En particular Fermi bombardeó uranio con neutrones y halló como resultado ciertos elementos que no siendo ya uranio emitían todavía partículas beta. El mismo año de 1938 en que Fermi era galardonado con el premio Nobel por sus trabajos sobre neutrones, los químicos Hahn y Strassman en Alemania lograron individualizar a esos elementos emisores de partículas beta. Descubrieron que se trataba del bario y del criptón, elementos de número atómico 56 y 36, respectivamente, números próximos a la mitad del número atómico del uranio, 92.

De los isótopos del uranio es el U-235 el que tiene mayor avidez por los neutrones. Al interaccionar un neutrón con un núcleo de U-235 se forma un nuevo núcleo, el U-236, que casi instantáneamente se **fisiona** en dos fragmentos, los núcleos de bario y de criptón, y además dos o tres neutrones son emitidos. Pronto distintos laboratorios en todas partes del mundo informaron sobre el aislamiento de otros diferentes productos o fragmentos de la fisión del uranio. Son conocidos más de treinta distintos pares de fragmentos en que la fisión del uranio puede tener lugar.



La energía liberada en cada fisión de un núcleo de uranio tiene también su origen en la desaparición de una cierta cantidad de materia, esto es, la suma de las masas de todos los productos de la fisión es menor que la suma de las masas originantes de dicha fisión, un neutrón y un núcleo de U-235. Y la naturaleza es tan pródiga que nos brinda más de 200 millones de electrón-voltios por cada fisión. Esta energía es acarreada en su mayor parte por los dos frag-

mentos en forma de energía cinética, y al ser frenados dichos fragmentos por la materia circundante, se transforma en calor. He aquí la extraordinaria ventaja de la energía nuclear: en las reacciones químicas ordinarias, tales como las ocurridas en la combustión del carbón o petróleo, se liberan apenas unos pocos electrón-voltios por cada átomo quemado, o sea, una cantidad de cien millones de veces menor que la liberada por cada átomo "quemado" de uranio. En la reacción nuclear que nos ocupa, la fisión nuclear, fue confirmada una vez más la fórmula de Einstein:  $E = C^2 \times M$ .

## REACCION EN CADENA Y MEDIDA CRITICA

Otro hecho remarcable de la fisión nuclear lo constituye la emisión de dos o tres neutrones por cada fisión. Si las condiciones se dieran para que estos dos o tres neutrones pudieran producir a su vez sendas fisiones nucleares, por cada fisión inicial se obtendrían dos o tres secundarias, y si el proceso de multiplicación pudiera continuar al cabo de un segundo los eslabones de dicha cadena alcanzarían, en condiciones favorables, un número superior a mil, lo que puede dar una idea de la enorme cantidad de energía que podría desarrollarse en tan corto tiempo.

No obstante, no es cuestión de soplar y hacer botellas, no basta tomar un trozo de uranio y arrojarle neutrones. El uranio natural consiste de dos isótopos, el U-235 y el U-238. Pero tan solo el primero es capaz de desatar la reacción en cadena, y desafortunadamente en el uranio natural hay un átomo de U-235 por cada 140 de U-238, de tal modo que un neutrón tropezará tanto más frecuentemente con un U-238, siendo absorbido por el mismo o rebotando, sin producir fisión. Y luego de rebotar varias veces en el U-238 puede llegar a la superficie del trozo de uranio y escapar. Es claro que si son más los neutrones perdidos de este modo que los producidos por la fisión del U-235 la reacción en cadena no se podrá autosostener.

El número de neutrones perdidos puede ser disminuido reduciendo la proporción de U-238 existente en el uranio natural. Este procedimiento, sumamente costoso, genera el llamado "uranio enriquecido" sobreentendiéndose, en U-235. Por este proceso se ha llegado a enriquecer hasta obtener trozos de uranio con más del 90 por ciento de U-235. La pérdida debida a escape de neutrones del bloque de uranio se puede superar aumentando las dimensiones del mismo, pues así los neutrones deberán recorrer más camino antes de escapar, lo que aumenta también la probabilidad de cruzarse con un átomo de U-235 provocando la fisión deseada.

Naturalmente ambos métodos, enriquecimiento en U-235 y aumento de las medidas, están relacionados. Lo primero en establecerse es el material a emplear, esto es, su composición. Ra-

(Concluye en pág. 24)